



TITLE:

Development of regional exploration techniques for groundwater resources in semiarid areas through integration of remote sensing and geophysical survey( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Luís, André Magaia

---

CITATION:

Luís, André Magaia. Development of regional exploration techniques for groundwater resources in semiarid areas through integration of remote sensing and geophysical survey. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21089>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2020-03-31に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	Luís André Magaia
論文題目	Development of regional exploration techniques for groundwater resources in semiarid areas through integration of remote sensing and geophysical survey（リモートセンシングと物理探査の統合による半乾燥地域での地下水資源の広域探査手法の開発）		
<p>Exploring groundwater resource in crystalline rocks in semiarid areas is a challenging issue because of their complex hydrogeologic structure and low potential yield in drilled boreholes. Because of the low storability of aquifers, large decline in the groundwater level occurs in the prolonged drought periods, which is a typical feature of the region. These problems force the local communities to walk long distances to obtain one of the most precious resources, sometimes from unsafe wells.</p> <p>Based on that background, this study aims to develop a method of integrating remotely sensed and near surface geophysical data for regional groundwater exploration in semiarid areas covered by crystalline basement rocks and regolith. A central western province with 45 km×45 km, Tete, in Mozambique was chosen as a case study area due to its complex geology. The background and motivation of this study, including the description of the study area, are summarized in Chapter 1.</p> <p>For that purpose, lineament extraction from a Digital Elevation Model (DEM), a vegetation index derived from Landsat 8 OLI images, and Transient Electromagnetic (TEM) survey data were used and integrated finally. OLI imagery is a typical and widely used optical sensor imagery. At first, DEM data was enhanced using an Adaptive-Tilt Multi-Directional Shading (ATMDS) technique and a non-filtering technique, Segment Tracing Algorithm (STA), was adopted to extract lineaments from the shaded DEM data to characterize the regional fracture system in Chapter 2. Three predominant trends along NNW, NE, and NNE were found to follow the inferred faults on a geological map.</p> <p>Shallowness and amount of stored groundwater in the fracture zones were assessed by the analysis of a suitable vegetation index that was less sensitive to the soil background. Two OLI images representing dry and wet seasons were used for the analysis in Chapter 3. The results from Chapters 2 and 3 were integrated using ArcGIS for subsequent selection of the ground truthing survey points. This integration clarified how the fracture system controls the groundwater system in the study area, which was demonstrated by that active vegetation was mapped along the lineament zones. Therefore, the lineaments extracted are probably related to fracture zones that could be paths for groundwater flow in the shallow zones and aquifers.</p> <p>In Chapter 4, surface backscattering coefficient from SAR data was analyzed to derive surface manifestations related to weathering and/or vegetation activity which could be linked to groundwater potential zones. In particular, a clay index that emphasized clay-rich zones from high vegetation activity was considered. The result was effective to specify highly weathered zones and use as ancillary information for assigning ranks of the geological feature classes in the groundwater potential mapping.</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Luís André Magaia
<p>Then, 14 TEM survey profiles were selected in different geological settings across the continuous lineaments that were considered to be aligned along the inferred faults from the geological map and from the fault modeling. The data processing, inversion analysis, resultant resistivity cross-sections, and geological interpretation of the 14 cross-sections were described and discussed in Chapter 5. The most noteworthy feature was the appearance of a moderate resistivity zone with a large thickness around the lineaments from the surface to large depths. The occurrence of this moderate resistivity zone changed with location. This resistivity zone also appeared in the transition zones between two lithological units. However, heterogeneity in the degrees of weathering and fracturing was inferred because the resistivities were high, as a whole, in some profiles.</p> <p>In Chapter 6, a groundwater potential map was produced by integrating five water-related factors: lineament density, slope, geology, vegetation index, and proximity to lineament. Very good potential zones were identified in areas of dense lineaments and around long lineaments related to fractures. However, the shallow aquifers have low potential even near the fracture zones because of the presence of a thick resistive layer over the moderately conductive layer near the fracture zones.</p> <p>Finally, Chapter 7 summarized the essential results of each chapter as a grand conclusion of this study. The combination of topographic and vegetation greenness analyses, and near surface resistivity modeling, were demonstrated to be effective for detecting fracture zones and evaluating groundwater potential by this study. This rapid and cost-effective technique can be widely applied to tropical savannas covered by crystalline basements that lack detailed drilling surveys. Important future works are also discussed in this chapter to increase the accuracy of groundwater potential mapping.</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

河川水に比べて地下水は水質や温度が安定し、量も多いため、世界各地で利用量は急増している。アフリカの多くは半乾燥地域に属するが、ここでも農業や生活用水として地下水は重要な資源となっている。アフリカでは先カンブリア時代の古い地質から構成されるところが多く、その風化層であるレゴリスが主に帯水層を形成する。しかしながら、このような地質状況では帯水層の検出が難しく、断片的な地下水情報に基づく従来の地下水存在可能性の評価精度は低い。この問題に対して、本論文はリモートセンシングによって複数の広域地表情報と断裂系を抽出するとともに、物理探査による地下物性情報を追加し、これらを統合するという手法を開発した。これをモザンビーク中部に適用することにより、地下水資源ポテンシャルを評価できるようになったという初めての水資源学研究である。学位論文は緒論と結論を除く 5 つの章から構成されており、成果の概要は以下のようである。

- 1) 45 km×45 km の対象地域に対して、数値地形モデルの多方位陰影により線構造を強調し、それからリニアメントを自動抽出した結果、北北西－南南東方向が最も卓越し、北東－南西方向がそれに次ぐという断裂系の特徴を明らかにできた。Landsat 8 OLI 画像を用い、植生間にある土壌からの反射を考慮した植生指数解析によれば、主要なリニアメントに沿って乾期でも植生が豊富であることがわかり、地下水胚胎の場を形成している断裂系の特定が可能になった。
- 2) 合成開口レーダ画像の後方散乱係数を用いて地表の風化程度の推定を試みた結果、風化によって地表の粗度が相対的に小さい領域は、光学センサ画像による粘土指数が高い領域とほぼ重なった。よって、本手法はレゴリスが発達し、透水性の高い領域を抽出するのに役立つ。
- 3) 植生指数が高く、長いリニアメントを横切る 14 測線で TEM (時間領域電磁探査法) を実施し、測定データの逆解析により深度 150 m 程度までの比抵抗分布を求めた。その結果、リニアメント近くで中程度の比抵抗 (10～300 Ωm) が幅広く、深部まで分布することが明らかになり、これは有能な帯水層の存在に関連するものと解釈できた。
- 4) 地下水胚胎に関連する 5 つの要素、すなわちリニアメント密度、斜面角度、後方散乱係数から区分した表層地質、植生指数、およびリニアメントまでの距離を適切な重み付けで加算し、対象地域全体での地下水資源ポテンシャルを評価した。評価が高い場所には流量が大きい井戸が多く掘られ、上記の中程度の比抵抗ゾーンも現れており、評価の妥当性が実証できた。

以上、本論文で提案された広域地下水資源探査法の有用性と汎用性は高く、取水井掘削の成功確率を高め、良質の地下水を居住域に安定して供給できることに貢献し得る研究として、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 17 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

氏 名	Luís André Magaia
-----	-------------------

<p>なお，本論文は，京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し，公表に際しては，（平成 3 2 年 3 月 3 0 日までの間）当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。</p>
--